

CAPÍTULO 5

DESARROLLO DE PRODUCTO A ESCALA DE LABORATORIO COMO ESTRATEGIA DE INNOVACIÓN INDUSTRIAL



La necesidad de establecer una etapa de desarrollo de producto en pequeña escala se fundamenta en una estrategia de innovación industrial con el fin explorar nuevas formas de unidades constructivas con garantías de éxito en la fase de producción.

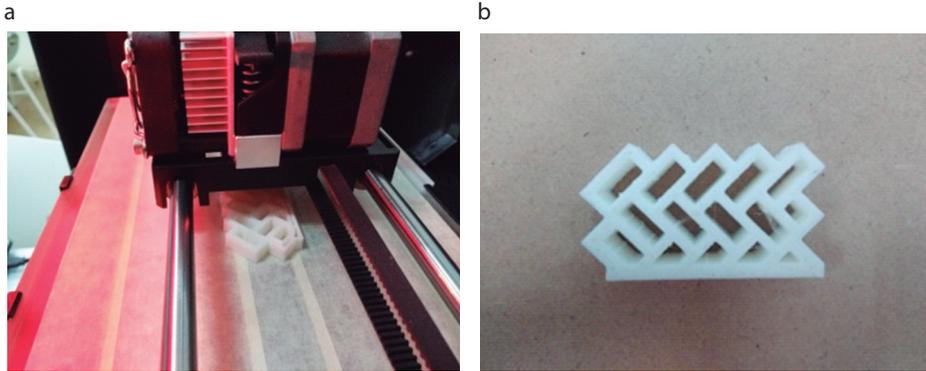
Si bien es claro, los criterios de diseño son una ruta clara para mejorar el rendimiento térmico del producto. Sin embargo, es importante tener en cuenta la viabilidad industrial de acuerdo con el método de fabricación y la infraestructura disponible durante el proceso de diseño. El caso de esta investigación es muy específico, porque está limitado a las unidades constructivas fabricadas en arcilla por extrusión.

Las etapas del desarrollo de producto a escala de laboratorio son: la impresión en 3 dimensiones (3D), fabricación a escala de laboratorio y caracterización de producto terminado.

Impresión en 3 Dimensiones (3D)

La impresión en 3D es una etapa complementaria del proceso de diseño, debido al primer acercamiento al volumen de la unidad constructiva. La pertinencia de esta etapa es la previsualización volumétrica de los diseños planteados en papel con el fin de comprender la complejidad de las geometrías de los nuevos productos.

Figura 67. Impresión 3D de ladrillos a escala 1:5 en impresora



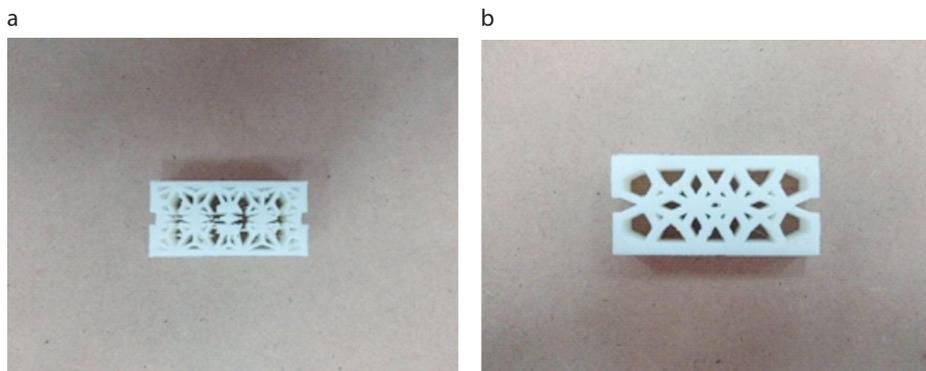
Nota: makerbot: replicator 2 del aula de diseño cerámico.

Fuente: elaboración propia.

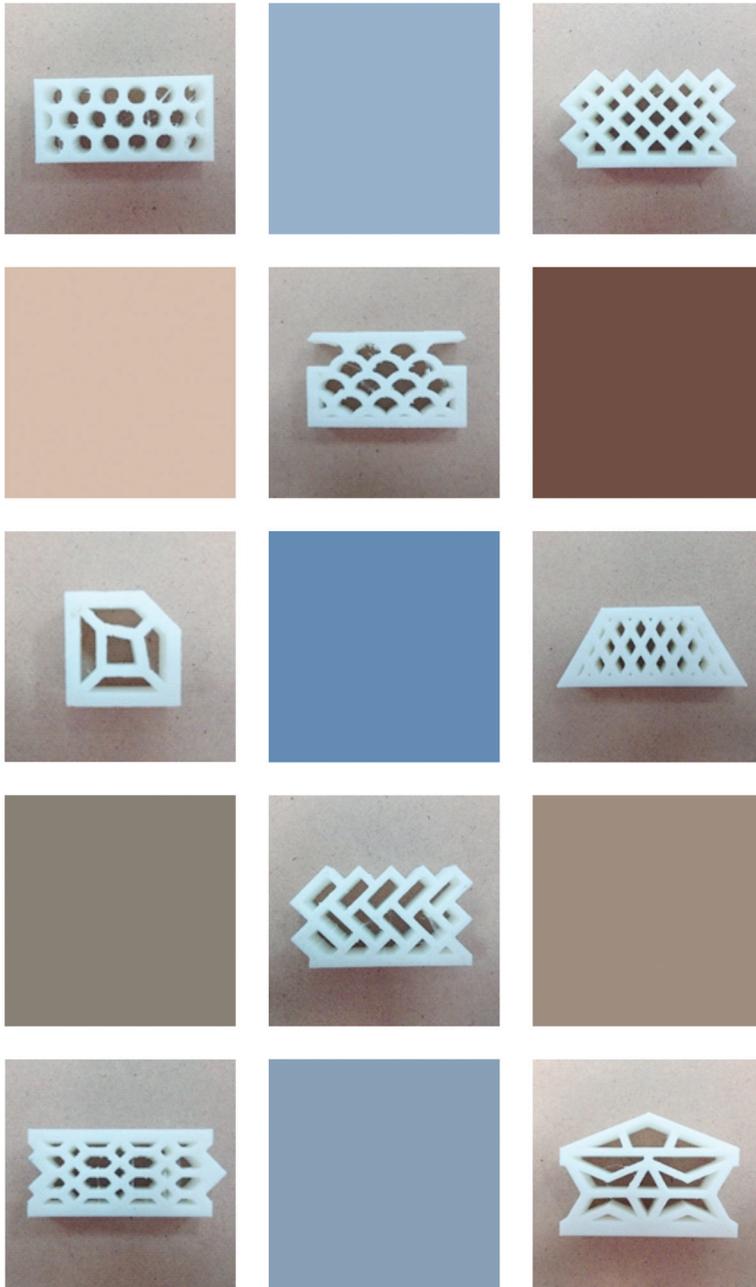
La metodología de la impresión 3D se ejecutó de la siguiente manera: en primer lugar, se realizó el modelado 3D en *SketchUp* para exportarlo en el formato *STereoLithography* (STL) compatible con la impresora *Makerbot: Replicator 2* del aula de diseño cerámico.

En primera instancia, los ladrillos se fabricaron a escala 1:10 en la impresora 3D. Los primeros intentos evidenciaron que la complejidad de las geometrías de las celdas o perforaciones de menor tamaño es una de las fallas principales. Teniendo en cuenta esta situación, la fabricación por impresión 3D ajustó la escala a 1:5 para mejorar la proyección de los volúmenes.

Figura 68. Prototipos iniciales con defectos (a) y prototipos finales (b)



Fuente: elaboración propia.

Figura 69. Prototipos de ladrillos en impresión 3D a pequeña escala

Fuente: elaboración propia.

Fabricación a escala de laboratorio

La fabricación a escala de laboratorio es una estrategia que nace desde el Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica (GITEC), apoyado por el Centro de Investigación en Materiales Cerámicos y el Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos (GRAMA), los cuales tienen el fin de apostar por la innovación de productos para mampostería con beneficios térmicos.

La sinergia entre las 3 partes consolidó la adaptación de una metodología industrial a escala de laboratorio para ejecutar los objetivos propuestos. Las etapas de la metodología de la fabricación a escala de laboratorio son elaboración de boquillas, preparación de la mezcla, extrusión, secado y cocción.

Figura 70. Procedimiento de fabricación a escala de laboratorio



Fuente: elaboración propia.

Fabricación de boquillas

La elaboración de boquillas para adaptar en la extrusora del laboratorio de extrusión del CIMAC se realizó en un taller de metalurgia especializado. El equipo encargado requirió la planimetría del diseño en AutoCAD y el porcentaje de contracción de la mezcla para diseñar la boquilla para definir la escala de las boquillas según la capacidad de la extrusora.

Figura 71. Corrección y perfeccionamiento de boquillas para adaptar en extrusora de laboratorio del CIMAC



Fuente: elaboración propia.

Preparación de la mezcla

La preparación de la mezcla varía de acuerdo con el tamaño de las partículas de las materias primas. El material principal de la investigación es la arcilla y los materiales complementarios son el cisco de café y la cascarilla de arroz. Los procesos de preparación son secado, triturado, molienda y tamizado.

Materiales como el cisco de café y la cascarilla de arroz exigen procesos de tamizados con mallas pequeñas debido a que su alta capacidad de ignición genera poros en los productos durante los procesos de cocción. Por tal motivo, no solo es importante garantizar la uniformidad del tamaño de partícula, sino un tamaño de partícula que no afecte las propiedades mecánicas del producto terminado. Finalmente, la preparación de la mezcla consiste en amasar las porciones correspondientes según los requerimientos de la formulación de la mezcla.

Figura 72. Preparación de materias primas



Fuente: elaboración propia.

Extrusión

El proceso de extrusión es, sin duda, la prueba de fuego porque se pone a prueba la materialización del producto a través de la boquilla y la mezcla formulada. Durante esta etapa es recomendable prestar atención a todos los factores involucrados para identificar posibles errores en la fabricación como roturas, hundimientos, fisuras, entre otros que comprometan el diseño original del producto.

Algunas causas registradas en la experimentación de esta investigación son: partículas de gran tamaño que se atorán en la boquilla, lo cual corta el material en lugares no deseados, errores en el diseño de la boquilla, el exceso de agua en la mezcla deforma el producto en húmedo y, en el caso contrario, dificulta el moldeo durante la extrusión, por último, la complejidad de la geometría de las perforaciones.

Una vez finalizada la extrusión, las muestras en condición húmeda son codificadas para los ensayos de laboratorio y dispuestas en una bandeja limpia para iniciar el proceso de secado.

Figura 73. Identificación de desprendimientos y deformaciones en pruebas de extrusión

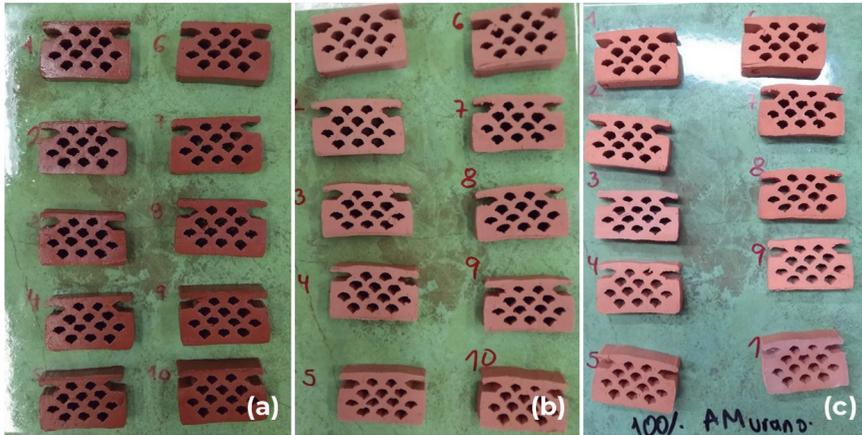


Fuente: elaboración propia.

Secado

El proceso de secado inicia con las muestras recién extruidas en condición húmeda, las cuales se someten a un periodo de reposo a temperatura ambiente durante 24 horas. Finalizado el secado natural, continúa el proceso en horno de secado marca Franco Gabrielli *Technology* durante otras 24 horas, aproximadamente.

Figura 74. Condición húmeda (a), seca (b) y cocida (c) de las muestras



Fuente: elaboración propia.

Cocción

El proceso de cocción o quemado es la etapa final de la fabricación; se realiza en un horno mufla de la marca Franco Gabrielli *Technology* a 1.000 °C.

Figura 75. Prototipos fabricados en arcilla cocida por extrusión a escala de laboratorio



Fuente: elaboración propia.

Caracterización de producto terminado

La caracterización de producto consiste en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo fabricado. Los ensayos de laboratorio realizados son contracción lineal, resistencia mecánica a la compresión, eflorescencias, porosidad, densidad aparente, absorción de agua y dimensiones. Asimismo, la ejecución de

cada proceso partió de la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 y NTC 4205, UNE-EN 772-11, UNE-EN 772-21 y la Norma ASTM C-373. Los principales equipos para la realización de los ensayos son balanza, calibrador, recipientes y estufa.

Contracción lineal

La determinación de contracción lineal es un proceso paralelo al proceso de fabricación porque requiere la toma de medidas en las diferentes condiciones de las muestras. Esta propiedad se determina con el fin de identificar las probabilidades de rotura y fisuras del producto.

Determinación de dimensiones para unidades de mampostería

La determinación de dimensiones de unidades de mampostería registra los valores de longitud, ancho y profundidad de una pieza constructiva para mampostería. El ensayo requiere un calibrador de mordazas paralelas o pie de rey (NTC 4017), además, determina las dimensiones de las perforaciones y tabiques, según el diseño de cada producto.

Determinación de absorción de agua

La propiedad de la absorción de agua determina la capacidad de almacenamiento de agua del ladrillo o bloque. El ensayo tiene dos modalidades: inmersión por agua fría y ebullición.

Por inmersión en agua fría

La modalidad por inmersión en agua fría determina el peso seco de las probetas y, después, el sumergimiento en agua fría por determinado periodo de tiempo para obtener el peso saturado (NTC 4017).

Por ebullición

La modalidad de absorción de agua por ebullición determina propiedades adicionales como volumen exterior, volumen de poros abiertos e impermeables, porosidad aparente, absorción de agua, peso específico aparente y densidad aparente.

Como su nombre lo indica, el procedimiento consiste en la ebullición de las muestras por un periodo de tiempo definido en la Norma ASTM C-373.

Determinación de resistencia a la compresión para unidades de mampostería

La determinación de resistencia a la compresión de un ladrillo y/o bloque consiste en la aplicación de cargas específicas según la aplicación constructiva. El procedimiento requiere las muestras secas y la velocidad de carga. Los datos obtenidos del ensayo son carga máxima de rotura (N o kfg) y promedio de áreas brutas de la superficie superior e inferior (cm^2), según la NTC 4017.

Determinación cualitativa de eflorescencias para unidades de mampostería

La determinación cualitativa de eflorescencia registra la concentración de sales en la arcilla a través de la evaporación de agua del ladrillo. Este proceso acumula las sales en las superficies del producto en forma de manchas blancas, correspondientes a sales de sulfato o amarillas correspondientes a sales de vanadio.

El ensayo consiste en la disposición de una de las superficies de las muestras en agua destilada por un periodo de tiempo determinado en la NTC 4017. En paralelo, el procedimiento debe registrar en fotografías el antes y después de todas las superficies de cada muestra para calificar cualitativamente la intensidad y el tipo de manchas de las eflorescencias.

Figura 76. Muestras eflorecidas y absorción de agua

a

Muestras eflorecidas



b

Absorción de agua

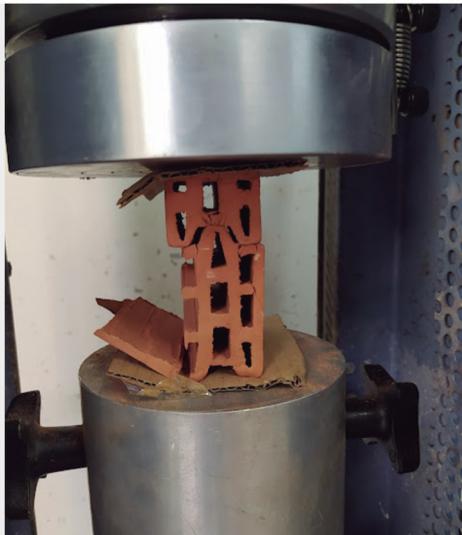


Fuente: elaboración propia.

Figura 77. Dimensiones



Dimensiones



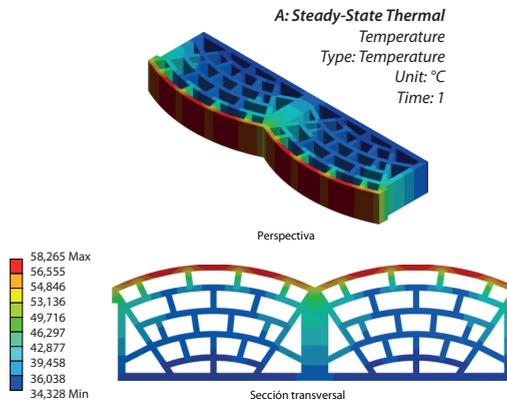
Fuente: elaboración propia.

los puentes térmicos generados por las juntas de mortero. Estas tipologías de producto están pensadas para combinarse con el ladrillo multiperforado y generar diferentes patrones de fachada.

En este caso, las simulaciones se realizaron en dos mezclas en M Ab y M-ACC 5 para evaluar la incidencia del aditivo de 5% de cisco de café. Sin embargo, los resultados demuestran que las variaciones son mínimas.

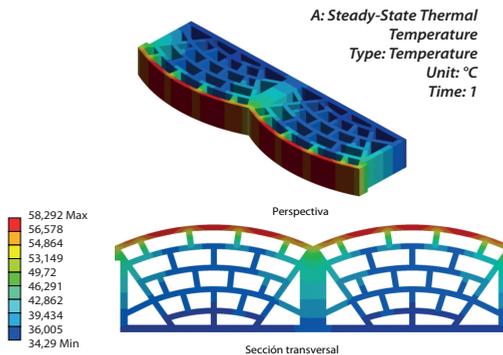
El primer beneficio térmico es la disminución de la temperatura de la superficie exterior de casi 4°C. De igual manera, la temperatura de la superficie interior disminuye 7,3°C en las mezclas con solo arcilla y con aditivos de cisco de café como nutriente tecnológico.

Figura 99. Distribución de temperaturas de Eco D Curvo en arcilla



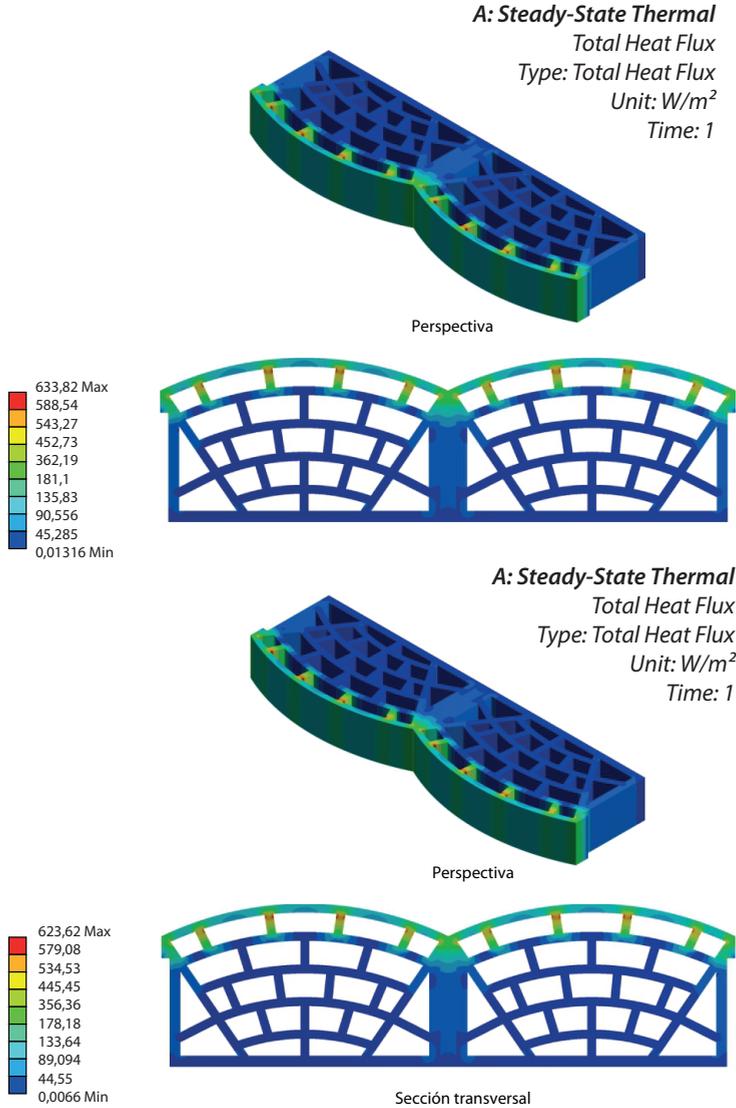
Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020).

Figura 100. Distribución de temperaturas de Eco D Curvo en arcilla y cisco de café



Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020).

Figura 101. Flujos de calor de Eco D Curvo en arcilla y arcilla con cisco de café



Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020).